VIII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO
8 e 9 de junho de 2012
ISSN 1984-9354

APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA REDUÇÃO DE PERDDAS ASSOCIADAS À PRODUÇÃO DE MÓVEIS SOB ENCOMENDA

Jônata Ferreira de Melo
(*UFPE)*
Maurilio José dos Santos
(*UFPE)*

Resumo
Este artigo propõe um melhor aproveitamento das sobras de uma indústria produtora de móveis sob encomenda. A otimização foi obtida por meio da programação linear inteira e está estruturada nas seguintes etapas: definição do problema, constrrução do modelo matemático, solução do modelo matemático, validação do modelo e implementação da solução encontrada. A solução encontrada para o modelo proposto mostrou que as sobras podem minimizar boa parte dos custos associados à matéria prima. O uso de técnicas analíticas quantitativas para a gestão de perdas e refugo vem sendo amplamente aceita na indústria de um modo geral, isto pelo fato dos dados quantitativos fornecerem uma noção imparcial dos problemas associados à produção de um bem.

Palavras-chaves: otimização, programação linear inteira, modelo matemático e perdas

1.Introdução

Depois da consolidação do conceito de produção enxuta (Lean manufacturing) inserida pelos japoneses na indústria atual (pós segunda guerra mundial), o foco das indústrias mudou para a otimização dos processos industriais sob a ótica da melhoria contínua. Com a competição a níveis globais promovida pelo dinamismo do mercado atual, as empresas tendem a enxugar cada vez mais os seus custos de produção, despesas e perdas associadas à produção, isto na tentativa de manter-se competitiva num mercado cada vez mais acirrado.

De acordo com MONDEN (1999) a competição entre as empresas transcendem as fronteiras, uma vez que ela compete em mercados internacionais. Todas com o objetivo comum de fornecer produtos com qualidade que agrade o consumidor e a um preço acessível.

As perdas da produção estão associadas ao processo produtivo, mas não deve ser confundida com o custo de produção, tendo em vista que diferentemente do custo a perda não se trata um recurso utilizado propositalmente visando agregar valor ao produto. As perdas estão normalmente associadas à eficiência que a planta tem de converter as matérias primas em produtos acabados.

1.1 Eficiência / Desperdício

O objetivo principal de um sistema de manufatura enxuto é a otimização dos processos por meio da redução contínua dos desperdícios. De acordo com WOMACK & JONES (1996) Shigeo Shingo identificou para o sistema Toyota de produção sete tipos de desperdícios:

- **Superprodução:** Trata-se da produção excessiva de produtos, o que resulta em níveis de estoque maiores.
- **Espera:** Prejudica o fluxo pelo fato de promover ociosidade de pessoas, peças e informações.
- **Transporte excessivo:** É o movimento excessivo de pessoas, peças e informações que fazem com que haja aumento no consumo de energia e tempo dos recursos envolvidos.
- **Processos inadequados:** Esta perda está associada ao emprego de métodos e ferramentas inadequadas na produção de um bem.

- **Inventários desnecessários:** Ocasionado pela falta de informação, armazenamento excessivo e baixa eficiência.
- **Movimentação desnecessária:** Desorganização do ambiente de trabalho o que resulta em baixa performance dos aspectos ergonômicos e perda freqüente de itens.
- **Produtos defeituosos:** Problemas de qualidade do produto.

De acordo com TAIICHI OHNO (1997) a palavra eficiência é freqüentemente utilizada para falar sobre produção, gerência e negócio. Na indústria moderna eficiência tem um significado muito simples, significa redução de custos. Com base nestas abordagens estruturamos o presente artigo voltado inicialmente para a redução das sobras de produção o que impacta diretamente no consumo de matéria prima e na perda por movimentação desnecessária tendo em vista que a área destinada a esta sobra tende a crescer cada vez mais.

2 Definição do problema / Objetivo

O negócio em estudo é uma empresa produtora de móveis sob encomenda. Os produtos são produzidos para atender especificamente o padrão de qualidade comumente exigido pelo publico que possui alto poder de compra, ou seja, trata-se de um produto destinado às classes A e B+. Devido à customização do produto oferecido podemos concluir que esta produção é uma produção do tipo puxada. A produção está organizada em um leiaute do tipo por processo e trabalha obviamente sob ordens de produção. O estoque em processo é baixo e os problemas associados ao fluxo de produção são mínimos, pois em grande parte do processo existem máquinas automáticas controladas via PLC (controladores lógicos programáveis). O problema que envolve a produção destes bens está associado às perdas geradas no uso da matéria prima. Por se tratar de produtos fabricados em madeira, nem sempre o número de peças requeridas gera um bom aproveitamento, isso faz com que sejam geradas sobras de matéria prima que são armazenadas e depois de certo tempo são trituradas e destinadas como refugo de produção. A proposta é desenvolver uma forma de reduzir o estoque de sobras e conseqüentemente as perdas associadas a essa sobra. Com isso a estrutura atual de custos pode ser alterada e o cliente deverá pagar apenas a matéria prima que efetivamente for consumida para a produção do bem que está pagando e não pelas ineficiências do processo de produção.

O problema em estudo é o aumento da eficiência da planta por meio do melhor aproveitamento das sobras. Para tanto vamos tentar utilizar as sobras como insumo para a produção do máximo de itens requeridos pelos clientes. Segue abaixo um esquema que melhor explicita o problema proposto:

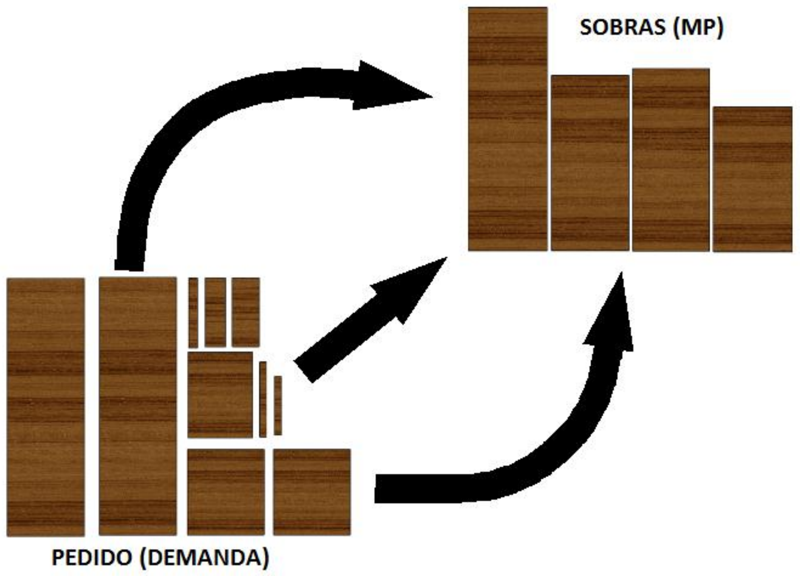

Figura 1: Esquema básico para alocação da demanda nas sobras

Como mostrado na figura acima o objetivo geral é construir um algoritmo que aloque o máximo de peças da demanda nas sobras disponíveis. Vale salientar que existem duas formas básicas para que este algoritmo aloque a demanda, a primeira forma leva em consideração a direção do veio (direção do crescimento das fibras da madeira) da madeira e a outra não leva em consideração a direção do veio. Esta observação é relevante, pois esta direção é importante para garantir o caráter estético do móvel depois de montado. A simulação abordada neste texto leva em consideração o veio da madeira, logo o número de combinações possíveis cairá à medida que a relação entre os eixos x e y serão obrigatoriamente mantidas.

De acordo com MORABITO (2007) o objetivo da ciência de um modo geral é observar e descrever fenômenos naturais, sociais, econômicos dentre outros. A partir da observação destes fenômenos visamos identificar leis que os regem e usamos a matemática para representar essas relações e a isto denominamos modelagem matemática. A programação linear é um método de solução que envolve apenas relações lineares.

3 Método

O problema proposto foi modelado de modo que este se torne um problema de otimização linear. Para tanto vamos reinterpretar nosso problema real como sendo um tipo de problema de transporte. Visando minimizar as sobras já geradas selecionamos 4 (quatro) peças de madeira do estoque de sobras. Depois desta seleção que se deu de forma aleatória, coletamos as medidas das sobras selecionadas. Em seguida selecionamos um item composto de 10 (dez) peças de nossa carteira de pedidos, este selecionado também de forma aleatória. A intenção é alocar as demandas nas ofertas de modo que possamos obter o máximo de aproveitamento das sobras, ou seja, vamos tentar produzir o máximo das peças solicitadas no pedido com as sobras catalogadas, isto respeitando as dimensões tanto das sobras quando da demanda. Para tal alocação modelamos o problema como um problema de transporte. A modelagem será explicitada no decorrer deste trabalho.

3.1 Modelagem do problema

De acordo com MORABITO (2007) o processo de modelagem pode ser representado de conforme a figura abaixo:

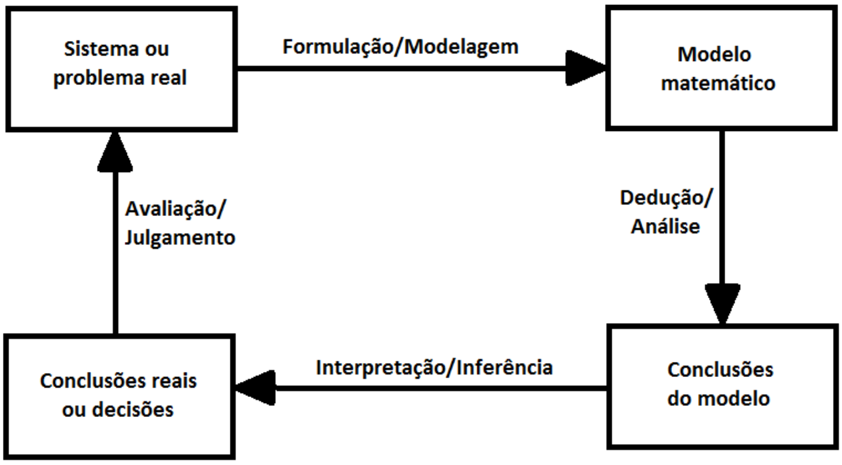

Figura 2: Esquema do processo de modelagem. Fonte: MORABITO (2007).

3.2Construção do modelo matemático

O problema envolve basicamente a tentativa de ocupar uma determinada área com outra, no entanto por se tratar de uma modelagem linear esta relação fio representada pela relação direta entre os eixos. Com isso temos que a função objetivo do nosso modelo é a seguinte:

$$F.O = max \sum_{m=1}^{10} \sum_{n=1}^{4} x_{m,n}$$

Onde:
m= demanda (peça solicitada)
n= sobra
$x_{m,n}$= variável de decisão

A variação dos sub-indices da variável de decisão significam respectivamente, o número de peças solicitadas no pedido e o número de sobras considerado. Estes números irão variar de acordo com o número de peças consideradas no modelo.

O modelo leva em consideração as seguintes restrições: restrição de comprimento, restrição de altura, restrição de não negatividade, restrição de valor máximo, restrição de variáveis inteiras, restrição de demanda máxima e restrição de área, esta última trata-se de uma redundância e serve para garantir que as outras foram atendidas.

Restrições de comprimento:

$$\boldsymbol{(comprimento)_m \leq (comprimento)_n}$$

Onde:
$(comprimento)_m = valor\ do\ eixo\ x\ da\ peça\ m$
$(comprimento)_n = valor\ do\ eixo\ x\ da\ sobra\ n$

Exemplo:

$$(comprimento)_1 \leq (comprimento)_1$$

$$(comprimento)_1 \leq (comprimento)_2$$

$$(comprimento)_1 \leq (comprimento)_3$$

$$(comprimento)_1 \leq (comprimento)_4$$

$$(comprimento)_2 \leq (comprimento)_1$$

$$\vdots$$

$$(comprimento)_{10} \leq (comprimento)_4$$

E,

Somatório dos comprimentos,

$$\sum_{m=1}^{10} (comprimento)_m * x_{m,1} \leq (comprimento)_{n=1}$$

$$\sum_{m=1}^{10} (comprimento)_m * x_{m,2} \leq (comprimento)_{n=2}$$

$$\sum_{m=1}^{10} (comprimento)_m * x_{m,3} \leq (comprimento)_{n=3}$$

$$\sum_{m=1}^{10} (comprimento)_m * x_{m,4} \leq (comprimento)_{n=4}$$

Restrições de altura:

Estas restrições são análogas às restrições de comprimento a única mudança está no eixo considerado. Vale salientar que para altura não usamos a restrição de somatório das alturas devido a ineficiência do modelo em realizar busca no espaço bidimensional, sendo assim optou-se como alternativa forçar o modelo a alocar as peças ao longo do eixo x (eixo definido como do comprimento da peça e sobra).

$$\boldsymbol{(altura)_m \leq (altura)_n}$$

Onde:
$(altura)_m = valor\ do\ eixo\ y\ da\ peça\ m$
$(altura)_n = valor\ do\ eixo\ y\ da\ sobra\ n$

Restrição de não negatividade:

$$x_{m,n} \geq 0$$

Restrição de valor máximo:

$$x_{m,n} \leq 1$$

Esta restrição existe pelo fato de precisarmos de apenas uma peça de cada uma das peças catalogadas. Sendo assim se desejamos 10 peças o valor máximo possível da função objetivo será 10 peças.

Restrição de variáveis inteiras:

Esta restrição é de suma importância pois não podemos produzir frações de peças. Esta restrição combinada com as de não negatividade e valor máximo forçam que o modelo forneça apenas valores binários para as variáveis de decisão. Para o aplicativo que vamos utilizar durante a simulação (LINDO 6.0) esta restrição é imposta pelo comando GIN (número de variáveis).

Restrições de demanda máxima:

Esta restrição existe para complementar a função da restrição de valor máximo, ou seja, ela foi criada para garantir que uma mesma peça não será alocada para ser produzida em duas sobras distintas.

$$\sum_{n=1}^{4} x_{1,n} \leq 1$$

$$\sum_{n=1}^{4} x_{2,n} \leq 1$$

$$\vdots$$

$$\sum_{n=1}^{4} x_{10,n} \leq 1$$

Restrição de área:

$$\sum_{m=1}^{10} [(comprimento) * (altura)]_m * x_{m,1} \leq [(comprimento) * (altura)]_1$$

$$\sum_{m=1}^{10} [(comprimento) * (altura)]_m * x_{m,2} \leq [(comprimento) * (altura)]_2$$

$$\sum_{m=1}^{10} [(comprimento) * (altura)]_m * x_{m,3} \leq [(comprimento) * (altura)]_3$$

$$\sum_{m=1}^{10} [(comprimento) * (altura)]_m * x_{m,4} \leq [(comprimento) * (altura)]_4$$

E por fim as áreas totais:

$$\sum_{m=1}^{10}[(comprimento)*(altura)]_m * x_{m,n} \leq \sum_{n=1}^{4}[(comprimento)*(altura)]_n$$

3.3 Solução do modelo matemático

O modelo matemático mostrado acima foi resolvido por meio da utilização de aplicativo LINDO versão 6.1, o mesmo encontrou a solução depois de 386 iterações. Segue a solução encontrada na tabela abaixo:

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 6.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	0.000000	-1.000000
X12	0.000000	-1.000000
X13	0.000000	-1.000000
X14	0.000000	-1.000000
X21	0.000000	-1.000000
X22	0.000000	-1.000000
X23	0.000000	-1.000000
X24	0.000000	-1.000000
X31	0.000000	-1.000000
X32	0.000000	-1.000000
X33	0.000000	-1.000000
X34	0.000000	-1.000000
X41	0.000000	-1.000000
X42	0.000000	-1.000000
X43	0.000000	-1.000000
X44	1.000000	-1.000000
X51	1.000000	-1.000000
X52	0.000000	-1.000000
X53	0.000000	-1.000000
X54	0.000000	-1.000000
X61	0.000000	-1.000000
X62	1.000000	-1.000000
X63	0.000000	-1.000000
X64	0.000000	-1.000000
X71	0.000000	-1.000000
X72	1.000000	-1.000000
X73	0.000000	-1.000000
X74	0.000000	-1.000000
X81	0.000000	-1.000000
X82	0.000000	-1.000000
X83	1.000000	-1.000000
X84	0.000000	-1.000000
X91	0.000000	-1.000000
X92	1.000000	-1.000000
X93	0.000000	-1.000000
X94	0.000000	-1.000000
X101	0.000000	-1.000000
X102	0.000000	-1.000000
X103	0.000000	-1.000000
X104	0.000000	-1.000000

Tabela 1: Resultado da simulação realizada usando o software LINDO

3.4 Validação da solução encontrada

De acordo com a solução encontrada depois da simulação devemos usar as sobras da seguinte forma:

VARIÁVEL	PEÇA A SER PRODUZIDA	SOBRA A SER UTILIZADA	COMPATIBILIDADE DAS DIMENSÕES
$x_{4,4}$	4 (502 x 732 mm)	4 (510 x 1000 mm)	✓
$x_{5,1}$	5 (68 x 597 mm)	1 (495 x 750 mm)	✓
$x_{6,2}$	6 (157 x 588 mm)	2 (510 x 595 mm)	✓
$x_{7,2}$	7 (211 x 588 mm)	2 (510 x 595 mm)	✓
$x_{8,3}$	8 (52 x 640 mm)	3 (500 x 720 mm)	✓
$x_{9,2}$	9 (52 x 502 mm)	2 (510 x 595 mm)	✓

Tabela 2: validação dos valores encontrados como solução ótima.

De acordo com a tabela anterior pudemos verificar que não existem interferências que inviabilizam o corte, no entanto pudemos observar que poderíamos alocar estas peças de modo que algumas sobras seriam poupadas do corte o que faria com que houvesse um maior ganho operacional na hora do processamento em si. Ficou claro que isto ocorreu por que o modelo induz a uma solução que envolva a utilização do máximo de sobras possível.

4. Considerações finais

A solução encontrada para o problema proposto trouxe um resultado bem satisfatório, tendo em vista que 60% dos itens pedidos puderam ser produzidos com as sobras catalogadas. Como dito anteriormente o modelo proposto não explorou todas as possibilidades de alocação no espaço bidimensional, no entanto foi capaz de fornecer uma solução viável e matematicamente mais simples que os modelos presentes na literatura atual.

A modelagem deste problema visa apenas a redução significativa dos estoques de sobras. No futuro esperamos que sejam tomadas medidas de precaução, ou seja, que as perdas sejam evitadas durante a elaboração do plano de corte. Isto pode ser feito possivelmente identificando itens que mesmo agregados a produtos customizados sigam padrões específicos de medidas, com isso poderíamos supor a produção antecipada para a criação de um possível pulmão de itens padrão ao invés de sobras provenientes da produção.

Referências bibliográficas

ARENALES, Marcos ...[et al]. **Pesquisa operacional:** Para cursos de engenharia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 524 p.

ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 21. 2001, Salvador. **Implantando técnicas e conceitos da produção enxuta integradas à dimensão de análise de custos**. **Anais**. Rio de Janeiro: ENEGEP, 2001. 8 p.

MONDEN, Yasuhiro; **Sistema de redução de custos:** Custo-alvo e custo kaizen. trad. Eduardo D'Agord Schaan.- Porto Alegre: Bookman, 1999.

MORABITO, Reinaldo; GARCIA, Valdir**. Uma abordagem para o problema de corte de chapas de fibra de madeira reconstituída.** 18 p. – Universidade federal de São Carlos – SP.

OHNO, Taiichi . **O sistema Toyota de produção:** além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997. 137 p.